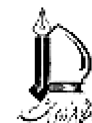


Iranian Food Science and Technology Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir



Research Article
Vol. 19, No. 5, Dec.-Jan. 2023, p. 617-633

Pre-harvest Application of Chitosan with Carvacrol on Biochemical, Qualitative and Shelf Life Characteristics of Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.)

Z. Ghasemi Arshad[1], A. Ehtesham Nia[2]*, E. Hazbawi[3], H. Mumivand[4], M. Soleimani Aghdam[5]

1, 2 and 4- M.Sc. and Associate Professors, Department of Horticultural Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir)
3- Assitant Professor, Department of Biosystem, Lorestan University, Khorramabad, Iran
5- Assoclate Professor, Department of Horticultural Science, Imam Khomeini International University Qazvin, Iran

Received: 2022.07.21 Revised: 2023.01.29 Accepted: 2023.02.14 Available Online: 2023.02.19	**How to cite this article:** Ghasemi Arshad, Z., Ehtesham Nia, A., Hazbawi, E., Mumivand, H., & Soleimani Aghdam, M. (2023). Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on biochemical, qualitative and shelf life characteristics of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *19*(5), 617-633. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.77806.1192

Introduction

The increase in people's awareness of the negative effects of chemical preservatives has led to more research on the antimicrobial effect of plant essential oils and their potential to be used as preservative compounds. Strawberry (*Fragaria ananassa* cv. qingxiang) is one of the most popular and widely consumed berries due to its taste, sweetness and healthy function. The taste of strawberry is related to its hardness, viscosity, sugars, protein, total soluble solid, titratable acidity content and minerals like P, K, Ca and Fe. It is a good source of polyphenolic compounds such as flavanols and has antioxidant activity. This, together with higher vitamin C content in strawberries, contributes beneficial effects on the maintenance of consumer health. Strawberry has higher antioxidant activities than orange, grape, banana, apple, etc. Strawberries are among the fruits sensitive to mechanical and physiological damage and have a fast metabolism and deterioration during the storage period. For this reason, it is necessary to use safe methods to control spoilage and maintain the quality of strawberry fruit during storage.

Materials and Methods

The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 5 x 4 factorial scheme (5 treatments x 4 periods evaluated), with four replications The first variable was the type of material with different concentrations in five levels including 0, 0.3%, 0.6% carvacrol, the combination of chitosan with 0.3% and 0.6% carvacrol, and the second variable was storage time in four periods including 0, 10, 20, 30 days of storage. The harvested fruits were kept at 4°C and with a relative humidity of 90±5% and parameters such as weight loss, pH, firmness of the fruit tissue, acidity (TA), soluble solids (TSS) and taste index, vitamin C, phenol and flavonoid, fruit shelf life (number of days) during the storage period were investigated and studied.

Results and Discussion

The ANOVA results showed that the effect of the type of treatment and storage time on all investigated traits except for the firmness of the fruit texture was significant at the probability level of 1%. The fruits treated with the combination of chitosan and carvacrol 0.6% had more texture firmness, vitamin C, total phenol content and the amount of soluble solids and better shelf life than the control. In all four storage times, the highest content of total phenol (2.49 mg of gallic

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.77806.1192

acid per 100 gr FW), total flavonoid (0.435 mg of Quercetin per 100 gr FW) and firmness (3.80 N) was related to the combined treatment of chitosan with carvacrol 0.6% and the lowest amount was related to the control. The firmness of the fruit tissue gradually decreased during storage, but this process was observed at a significantly slower rate in the treated fruits.

Conclusion

Considering the increase of 10 and 12 days of shelf life post- harvest of the combined treatment of chitosan + 0.6% carvacrol compared to other treatments and the control, hence the application of chitosan pre harvest and the use of 0.6% carvacrol edible coatings can be recommended as a safe and low-cost strategy to increase the shelf life post harvesting of 'Parus ' strawberry cultivar.

Keywords: Carvacrol, Edible coating, Firmness of fruit texture, Shelf life, Vitamin C



نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir



مقاله پژوهشی

جلد ۱۹، شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۲ ص. ۶۳۳-۶۱۷

کاربرد قبل از برداشت کیتوزان با کارواکرول بر خصوصیات بیوشیمیایی، کیفی و ماندگاری توت فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch.)

زینب قاسمی ارشد[۱]- عبداله احتشام‌نیا[۲]*- عیسی حزباوی[۳]- حسن مومیوند[۴]- مرتضی سلیمانی اقدم[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵

چکیده

بالا رفتن سطح آگاهی مردم نسبت به اثرات منفی نگهدارنده‌های شیمیایی، منجر به انجام تحقیقات بیش‌تر در زمینه پوشش‌های‌طبیعی،زیست‌تخریب‌پذیر با خاصیت ضدمیکروبی شده است. این پژوهش، به‌صورت آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار در گلخانه آموزشی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام شد. فاکتور اول، نوع مواد با غلظت‌های مختلف در پنج سطح شامل صفر (شاهد)، کارواکرول ۰/۳ درصد، کارواکرول ۰/۶ درصد، ترکیب کیتوزان ۱/۵ درصد با کارواکرول ۰/۳ درصد و ترکیب کیتوزان ۱/۵ درصد با کارواکرول ۰/۶ درصد و فاکتور دوم زمان انبارمانی در چهار سطح شامل صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ روز پس از انبارمانی بود. میوه‌های برداشت شده در دمای ۰/۵±۴ درجه سانتی‌گراد، با رطوبت نسبی ۵±۹۰ درصد نگهداری شدند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تاثیر نوع تیمار و مدت زمان انبارمانی بر تمام صفات مورد بررسی به‌جز سفتی بافت میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. میوه‌های تیمار شده با ترکیب کیتوزان و کارواکرول ۰/۶ درصد سفتی بافت، ویتامین‌ث، مواد فنولی و مقدار مواد جامد محلول بیش‌تر و ماندگاری بهتری نسبت به شاهد داشتند. به‌طوری‌که بالاترین میزان محتوای فنل کل (۲/۴۹ میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر) و سفتی بافت (۳/۸۰ کیلوگرم نیرو) مربوط به تیمار ترکیبی کیتوزان با کارواکرول ۰/۶ درصد بود. نتایج این مطالعه نشان داد کاربرد قبل از برداشت کیتوزان و کارواکرول ۰/۶ درصد می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد ایمن و کم هزینه جهت افزایش عمر پس از برداشت توت‌فرنگی رقم ’پاروس‘ قابل توصیه باشد.

واژه‌های کلیدی: پوشش خوراکی، سفتی بافت میوه، کارواکرول، ماندگاری، ویتامین‌ث

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) یک محصول مهم اقتصادی در سراسر جهان است (Ahn *et al*., 2021; Ilari *et al*., 2021). ارزش غذایی زیادی دارد زیرا حاوی مواد معدنی، ویتامین‌ها، فلاونوئیدها و ترکیبات فنلی با خواص بیولوژیکی مفید است، به‌عنوان مثال فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدسرطانی و ضدالتهابی دارد (Mozafari *et al*., 2018). همه‌ی این ترکیبات اثر هم‌افزایی و تجمعی بر ارتقای سلامت انسان و پیشگیری از بیماری‌ها دارند. میوه توت‌فرنگی میوه‌ایی نافرازگرا است و برای به‌دست آوردن حداکثر کیفیت بازاریابی باید در مرحله بلوغ کامل برداشت شود. این میوه همچنین به‌دلیل سرعت تنفس بالا، مقاومت مکانیکی کم و حساسیت بالا به حمله پاتوژن‌ها بسیار مستعد فاسدشدن است (Hashmi *et al*., 2013; Neri *et al*., 2014). با این حال، ویژگی‌های فیزیولوژیکی میوه‌های

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir)

۳- استادیار گروه بیوسیستم، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران

۵- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ایران

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.77806.1192

توت‌فرنگی به راحتی از بین می‌رود، زیرا نرم شدن آن‌ها باعث کاهش ماندگاری پس از برداشت آن‌ها در انبار سرد می‌شود (Eum *et al*., 2021; Chiabrando *et al*., 2019). توت‌فرنگی یکی از میوه‌های پرطرفدار و با طعمی لذیذ است که در مناطق معتدل کشت می‌شود. به‌دلیل خواص دارویی و غذایی، کشت توت‌فرنگی رو به افزایش است (Nezmer *et al*., 2018). تلفات پس از برداشت محصول یک مبارزه دائمی برای کشاورزی مدرن است که توسعه جایگزین‌های جدید برای کاهش ضایعات را ضروری می‌کند (De Corato., 2020; Ziv & Fallik., 2021). برای افزایش عمر نگهداری میوه‌ها و سبزیجات تازه و با حداقل فرآوری شده، چندین جایگزین و درمان فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پیشنهاد شده است (Agriopoulou *et al*., 2020). اخیراً روش‌های ازن، بسته‌بندی جوی کنترل‌شده، ترکیبات طبیعی، پوشش‌های خوراکی ضدقارچ و عوامل کنترل زیستی به‌عنوان جایگزین‌های ایمن و روش‌های نگهداری کارآمد در صنعت محصولات تازه ظاهر شده‌اند (Romanazzi *et al*., 2018; Tzortzakis & Xylia., 2019; Abd-Elkader *et al*., 2021). پوشش‌های خوراکی از پلیمرهای طبیعی مانند کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، موم‌ها و کامپوزیت‌های آن‌ها تشکیل شده‌اند که میوه‌ها را از محیط اطراف جدا می‌کند (Farina *et al*., 2020; Ghoora & Srividya 2020). پوشش‌های حاوی فیلم‌های خوراکی و اسانس‌ها (EOs) همچنین می‌توانند با کاهش تعرق و تنفس به حفظ کیفیت میوه‌ها پس از برداشت کمک کنند (Hosseini *et al*., 2019; Yuan *et al*., 2016). آنها همچنین با کاهش رشد میکروبی و افزایش کیفیت بافت میوه‌ها و سبزیجات در برابر فساد محافظت می‌کنند (Khodaei *et al*., 2021; Kahramano, 2016; Nair *et al*., 2020). استفاده از ترکیبات طبیعی برای کنترل پاتوژن‌های گیاهی باعث کاهش استفاده از قارچ کش‌ها می‌گردد. کیتوزان با قابلیت دوگانه کنترل میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و فعال‌سازی پاسخ‌های دفاعی القایی، به‌عنوان ماده غیرسمی قابل اطمینان در برخورد با پاتوژن‌ها شناخته شده است (Shirzad, 2013). همچنین به‌دلیل حلالیت بالا، غیر سمی بودن و زیست سازگاری، به‌عنوان یک ماده تنظیم‌کننده گیاهی سازگار با محیط زیست در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، مطالعه اثر کیتوزان بر کیفیت میوه توت‌فرنگی مورد توجه است (Nia *et al*., 2023). گیاهان معطر ترکیبات آلی تولید می‌کنند که ممکن است در دفاع از گیاهان در برابر حشرات گیاهی، باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها نقش داشته باشد. یکی از این ترکیبات به نام کارواکرول (۵-ایزوپروپیل-۲- متیل فنل) که در غلظت‌های بالایی در اسانس‌هایی مانند مرزه خوزستانی یافت می‌شود، گزارش شده است که فعالیت‌های زیستی متعددی در سلول‌ها و حیوانات نشان می‌دهد. این فعالیت‌ها شامل خواص آنتی‌اکسیدانی آن در غذا و در داخل بدن و مهار باکتری‌های بیماری‌زا، ویروس‌ها، قارچ‌ها و انگل‌های بیماری‌زا و حشرات در محیط آزمایشگاهی و در غذای انسانی حساس به آنتی‌بیوتیک و مقاوم به آنتی‌بیوتیک انسانی و مواد غذایی است (Friedman., 2014). به‌طور کلی کارواکرول به‌عنوان ایمن (GRAS)[1] برای مصرف توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده شناخته می‌شود و در حال حاضر در صنایع غذایی به‌عنوان یک عامل طعم‌دهنده و در بسته‌بندی موادغذایی استفاده می‌شود (Kachur *et al*., 2019). هی و همکاران (He *et al*., 2018) در پژوهشی به ارزیابی تیمار قبل از برداشت الیگوساکاریدهای کیتوسان بر کیفیت میوه توت‌فرنگی پرداختند. نتایج نشان داد که سفتی میوه، ویسکوزیته، لیگنین، مواد جامد محلول، پروتئین، مواد جامد محلول کل در میوه‌های تیمار شده با الیگوساکارید کیتوسان نسبت به شاهد افزایش یافت. علاوه بر این، تیمار الیگوساکارید کیتوسان قبل از برداشت تأثیر مثبتی بر فعالیت مهارکننده آنتوسیانین، فنل کل، فلاونوئید، محتوای ویتامین‌ث و میزان آنتی‌اکسیدان توت‌فرنگی داشت (He *et al*., 2018). پرتو و همکاران (Peretto *et al*., 2014)، در پژوهشی به ارزیابی افزایش ماندگاری توت‌فرنگی با بخارهای ضدمیکروبی کارواکرول و متیل سینامات منتشر شده از پوشش‌های خوراکی توت‌فرنگی پرداختند. نتایج نشان دادند که تأخیر و کاهش قابل توجهی در شدت پوسیدگی در میوه‌های تیمار شده مشاهده شد (Peretto *et al*., 2014). باتوجه به اینکه پژوهشی راجعبه بررررسی اسانس کارواکرول حاصل از مرزه خوزستانی در ترکیب با پلیمر زیستی کیتوزان انجام نشده است. بنابراین، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر تیمارهای قبل از برداشت کیتوزان ترکیب شده با اسانس کارواکرول در غلظت‌های مختلف بر حفظ و بهبود خصوصیات کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی رقم' پاروس' در طی دوره پس از برداشت انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار و هر تکرار پنج گلدان، جمعا بیست گلدان برای هر تیمار بر روی گیاه توت‌فرنگی رقم 'پاروس' انجام شد. نشاهای توت‌فرنگی از نهالستان مورد تایید جهاد کشاورزی استان کردستان تهیه و در گلدان های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۷ سانتی‌متر در بستر کاشت با نسبت وزنی ۱:۱:۲ شامل خاک (لومی رسی)، کود دامی پوسیده، ماسه کشت شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری

1- generally recognized as safe

های بعدی تا زمان استقرار کامل گیاه هر دو روز یکبار به‌صورت دستی صورت انجام شد. تیمارها شامل شاهد (صفر)، کارواکرول ۰/۳ درصد، کارواکرول ۰/۶ درصد، ترکیب کیتوزان ۱/۵ درصد با کارواکرول ۰/۳ درصد و ترکیب کیتوزان ۱/۵ درصد با کارواکرول ۰/۶ درصد بودند و بوته‌های توت‌فرنگی در سه مرحله شامل گلدهی، تشکیل میوه و تغییر رنگ میوه محلول‌پاشی شدند. به‌منظور ارزیابی عمر پس از برداشت میوه توت‌فرنگی با استفاده از تیمارهای ذکر شده، میوه‌ها در زمان رسیدن کامل برداشت شدند. میوه‌ها به انبار با دمای چهار درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۵±۹۰ درصد انتقال یافتند. سپس به فاصله هر ۱۰ روز یک بار در طول ۳۰ روز انبارمانی، ۴ میوه از هر تکرار به‌طور تصادفی انتخاب و خصوصیات بیوشیمیایی میوه‌ها نظیر کل مواد جامد محلول، آنتی‌اکسیدان و اسیدهای آلی، مورد ارزیابی قرار گرفت.

آماده‌سازی میکس کیتوزان با اسانس (کارواکرول)

برای تهیه ترکیب کیتوزان با جرم مولکولی متوسط با کارواکرول ابتدا ۱/۵ درصد کیتوزان (وزنی/ وزنی) استفاده شده یعنی ۱/۵ گرم کیتوزان در ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر استفاده گردید، و برای حل شدن بهتر ۵۰۰ میکرولیتر استیک‌اسید یک درصد (حجمی/حجمی) به آن اضافه شد. به‌منظور افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری پوشش‌ها از نرم کننده گلیسرول ۲۰ درصد (وزنی/وزنی) استفاده شد. همچنین این ماده به‌عنوان نرم‌کننده، به افزایش تحرک مولکول‌های پلیمر کیتوزان کمک می‌کند. پس از تنظیم پی‌اچ ۵/۵، ۲۰ درصد (وزنی/وزنی) به وزن کل محلول از ترکیب کارواکرول به‌عنوان، ترکیب طبیعی داخل محلول گنجانده شد. سپس امولیسیون تولید شده، در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد تحت فراصوت قرار گرفت. سپس محلول تولیده شده، داخل پتریدیش، ریخته در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت توسط آون خشک و به‌ترتیب ۰/۳ و ۰/۶ درصد (۰/۳ و ۰/۶ در ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر به‌همراه مقدار کمی DMSO) با پایه ۱/۵ درصدی کیتوزان استفاده گردید (Fernández-Pan *et al*., 2015).

کاهش وزن

نمونه‌هایی که برای این آزمون انتخاب شدند به‌طور جداگانه و ثابت در یک ظرف برچسب‌گذاری شده نگهداری شدند. از هر تیمار ۴ میوه انتخاب گردید. در روز اول پس از اعمال تیمارها وزن اولیه نمونه‌ها با دقت اندازه‌گیری شد. در روزهای دیگر نیز وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و اختلاف میان وزن نمونه‌ها در روزهای مختلف با روز اول بیانگر میزان کاهش وزن می‌باشد، که به‌صورت درصد افت وزن بیان شد (Tanada-Palmu and Grosso, 2005).

(۱) درصد کاهش وزن=(M1-M2) / M2 × ۱۰۰

M1=وزن نمونه در روز اول و M2=وزن نمونه در روز پایانی

اندازه گیری مواد جامد محلول

مواد جامد محلول توت‌فرنگی‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. ابتدا براساس پالمو و گروسو (Tanada-Palmu & Grosso, 2005)، با همزن مکانیکی به‌طور کامل و یکدست مخلوط شدند تا پوره همگن میوه بدست آید. با استفاده از رفراکتومتر ATAGO (مدل ان یک، ژاپن) مقدار مواد جامد محلول نمونه‌ها قرائت شد، پیش از شروع به‌کار، رفرکتومتر با آب مقطر کالیبره گردید. پس از هر بار قرائت به‌دقت رفراکتومتر تمیز شد تا از خطا جلوگیری گردد.

اسیدیته قابل تیتراسیون

اسیدیته براساس درصد اسیدسیتریک موجود در میوه با استفاده از روش پتانسیومتری توصیف شده توسط (Tanada-Palmu & Grosso, 2005) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۵ گرم از مخلوط پوره میوه در بشر کوچکی ریخته شد و با اضافه کردن آب مقطر به حجم ۵۰ رسانده شد. از هیدروکسیدسدیم ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH به ۸/۱ استفاده گردید. اسیدیته قابل تیتر به‌صورت درصد اسیدسیتریک بیان شد. برای این منظور، مقدار هیدروکسیدسدیم مصرفی با استفاده از رابطه ۳ تبدیل به درصد اسیدسیتریک شد.

(۲) اسیدیته قابل تیتراسیون = V×۰/۰۶۴

شاخص رسیدگی (شاخص طعم)

نسبت TSS به TA با تقسیم TSS به درصد TA، پس از قرائت درصد مواد جامد محلول (TSS) با دستگاه رفرکتومتر و محاسبه اسیدیته قابل تیتراسیون با روش تیتراسیون (TA) محاسبه شد (Saki *et al.*, 2019).

سفتی بافت

سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج (Lutron FG5020, Taiwan) و با یکبار نفوذ میله نفوذکننده با قطر ۳ میلی‌متر در نیمه استوایی هر میوه انجام شد. سفتی بافت میوه براساس بیشینه نیروی لازم برای نفوذ میله در گوشت میوه و برحسب کیلوگرم نیرو (Kgf) بیان گردید.

اندازه‌گیری pH میوه

میزان پی‌اچ آب میوه با استفاده از دستگاه پی‌اچ‌سنج (مدل، ۳۲۲۰، جنوبی) اندازه‌گیری شد. در هر نوبت اندازه‌گیری ابتدا دستگاه با بافرهای

۴ و ۷ کالیبره شد. سپس الکترود دستگاه داخل آب میوه قرار داده شد و پس از ثابت شدن عدد نمایش داده شده، میزان پی‌اچ ثبت شد.

ویتامین‌ث

محتوای ویتامین‌ث مطابق با روش تیتراسیون ۶،۲-دی کلروفنول‌ایندوفنل برآورد شد. به‌طور خلاصه، ۵ گرم توت‌فرنگی در ۵۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۲ گرم در میلی‌لیتر اسیداگزالیک همگن شد و سپس در ۱۵۰۰۰ دور به مدت ۱۵دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. مایع‌رویی (۱۰ میلی‌لیتر) با ۰/۱ درصد ۶،۲-دی‌کلرو فنول‌ایندوفنول به رنگ صورتی دائمی تیتر شد. غلظت ویتامین‌ث با توجه به حجم تیتراسیون ۶،۲ دی‌کلروفنول‌ایندوفنول با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد و به‌صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن میوه (FW) بیان شد (Nia *et al.*, 2023).

NaOHnormality (0.1N) ×Citric acid (%)= Titre (mL) × citric acid eq. weight (64gm) ×vol. made up (50mL) × wt. of sample × Vol. of sample for titrate (5mL) / 100 1000 × taken (10 g)

تهیه عصاره توت فرنگی

۲/۵ گرم میوه توت‌فرنگی با نیتروژن مایع به‌طور کامل پودر شدند. سپس ۳۷/۵ میلی‌لیتر متانول حاوی ۰/۲درصد استیک اسید به پودر توت‌فرنگی اضافه شد و به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بن‌ماری شد. پس از عبور از صافی، به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور سانتریفیوژ شدند و مایع‌رویی شفاف برای تجزیه و تحلیل صفات مورد بررسی در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (He *et al.*, 2018).

محتوای فنل کل

محتوای فنل کل با استفاده از روش فولین سیکالتیو (Slinkard *et al.*, 1977; Singleton *et al.*, 1999) مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور خلاصه، برای هر لوله آزمایش، ۲۰۰ میکرولیتر عصاره، ۲ میلی لیتر از معرف فولین سیکالتیو ۱۰ درصد و ۴ میلی‌لیتر سدیم‌کربنات یک مولار اضافه شد. لوله آزمایش به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق در تاریکی قرار گرفت. سپس نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. اسیدگالیک در غلظت‌های مختلف (صفر، ۳۱/۲۵، ۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰) به‌عنوان استاندارد استفاده شد و نتایج به‌صورت میلی‌گرم اکی‌والانت اسیدگالیک در گرم وزن میوه بیان شد (Nia *et al.*, 2023).

ارزیابی محتوای فلاونوئید کل

محتوای فلاونوئیدها با استفاده از روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد. ۱۰۰۰ میکرولیتر عصاره توت‌فرنگی و ۵۰۰ میکرولیتر نیتریت‌سدیم ۵ درصد در یک فالکون ۱۰ میلی‌لیتری اضافه شد. پس از ۶ دقیقه، ۵۰۰ میکرولیتر نیترات‌آلومینیوم ۱۰ درصد اضافه شد و اجازه داده شد به مدت ۶ دقیقه بماند. سپس ۴ میلی‌لیتر از هیدروکسیدسدیم ۴ درصد و الکل اتیلیک ۷۰ درصد به فالکون‌ها اضافه و به مدت ۱۲ دقیقه اجازه داده شد تا بماند. در نهایت جذب در طول‌موج ۵۰۲ نانومتر اندازه‌گیری شد. از ماده روتین در غلظت‌های مختلف (صفر، ۳۱/۲۵، ۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰) برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد و نتایج به‌صورت میلی‌گرم در گرم وزن میوه گزارش شد (He *et al.*, 2018).

ماندگاری میوه (تعداد روز)

مدت زمان نگهداری، از زمان نگهداری تا تاریخ انقضا در نظر گرفته شد. زمان ماندگاری میوه‌ها با ثبت تعداد روزهایی که در انبار با حفظ ویژگی‌های کیفی و بدون هیچ گونه فساد میکروبی تعیین شد. زمانی که میوه‌ها بیش از ۵۰ درصد از بین رفتند، به‌عنوان پایان ماندگاری گزارش گردید (Nia *et al.*, 2021).

تجزیه آماری داده‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و هر تکرار پنج گلدان انجام شد. فاکتور اول، نوع مواد در پنج سطح صفر (شاهد)، کارواکرول ۰/۳ درصد، کارواکرول۰/۶ درصد، ترکیب کیتوزان ۱/۵ درصد با کارواکرول ۰/۳ درصد و کیتوزان۱/۵ درصد با کارواکرول ۰/۶درصد می‌باشد و فاکتور دوم زمان انبارداری در چهار سطح شامل صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ روز پس از انبارمانی بود. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. برای رسم نمودار از نرم افزار اکسل استفاده شد. داده‌ها به‌صورت میانگین خطاهای استاندارد ارائه شده و اختلاف معنی‌داری بین تیمارها برای هر صفت با حداقل اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد مشخص شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تاثیر نوع تیمار و زمان انبارمانی در تمامی صفات (سطح احتمال یک درصد) معنی‌دار بوده است اما اثر متقابل در صفت سفتی معنی‌دار نشد (جدول ۱).

جدول ۱- کاربرد قبل از برداشت کیتوزان با کارواکرول بر خصوصیات بیوشیمیایی، کیفی و ماندگاری توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch)

Table 1- Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on biochemical, qualitative and shelf life characteristics of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	فلاونوئید Flavonoid	فنول کل Total phenolic	ویتامین ث Vitamin C	شاخص طعم TSS[۱]/TA[۲]	مواد جامد محلول TSS	اسیدیته TA	سفتی Firmness	پی‌اچ pH	کاهش وزن Weight Loss
نوع محلول پوشش‌دهی Type of coating solution	4	0.096**	0.897**	493.37**	105.32**	7.025**	0.0022**	2.015**	1.167**	288.364**
زمان انبارمانی Storage	3	0.039**	0.697**	2335.44**	107.12**	4.770**	0.0022**	2.237**	0.274**	551.861**
نوع محلول پوشش‌دهی *زمان انبارمانی Type of coating solution*Storage	12	0.0014*	0.129**	16.04**	10.127**	1.747*	0.0018**	0.166^{ns}	0.0698*	55.896**
خطا Error	40	0.057	0.011	5.24	1.002**	0.823	0.0001	0.1291	0.029	1.978
ضریب تغییرات CV	.	25.006	7.678	7.229	4.184	8.906	2.538	14.461	5.821	17.499

*، ** و ns: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.

*, ** and ns: Significant at 5% and 1% levels of probability and non-significant, respectively.

کاهش وزن (WL)[1]

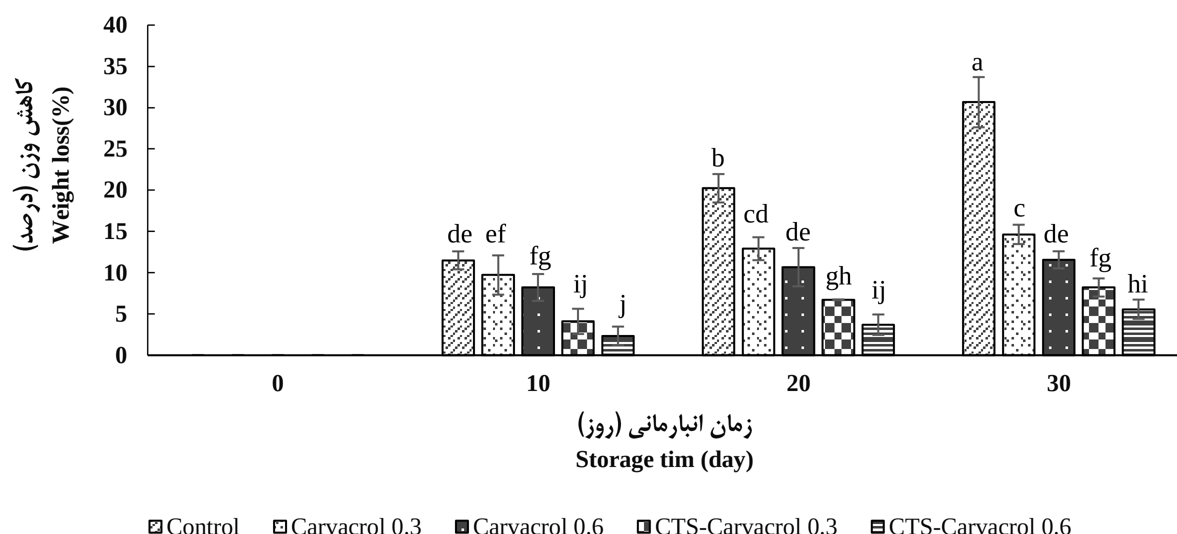
کنترل کاهش وزن میوه‌ها و سبزی‌های تازه یکی از مهم‌ترین اهداف پوشش‌دهی است. در دوره پس از برداشت دو عامل مهم باعث از دست دادن آب و کاهش وزن محصول می‌شود. یکی قطع شدن رابطه آب میوه با گیاه مادری و دومی افزایش تعرق در سطح میوه که یک فرآیند فیزیکی است و منجر به از دست دادن رطوبت محصول می‌شود. تغییرات کاهش وزن میوه در شرایط پس از برداشت بسته به نوع محصول، رقم و خصوصیات بافت آن می‌تواند متفاوت باشد، که این موضوع با دما و رطوبت انبار نیز در نتیجه میوه‌های پوشش داده شده با کیتوزان تغییرات کاهش وزن کم‌تری نسبت به میوه‌های شاهد دارد (Ergun and Satici, 2012). نتایج مقایسات میانگین مربوط به میزان کاهش وزن نمونه‌های تیمار شده با کیتوزان و کاراوکرول در شکل ۱ نشان داده شده است. براساس این نتایج، با افزایش زمان نگهداری، تمامی نمونه‌ها به‌طور پیوسته کاهش وزن ناشی از تبخیر رطوبت را داشتند. به‌طوری که در روز آخر آزمایش، بیش‌ترین میزان کاهش‌وزن مربوط به نمونه شاهد (۳۰/۶۶ درصد) و کم‌ترین آن مربوط به تیمار ترکیبی کیتوزان و کاراوکرول ۰/۶ درصد (۵/۵۷ درصد) بوده و همچنین کاربرد تیمارهای ترکیبی کیتوزان با کاراوکرول (۰/۳ و ۰/۶) باعث کاهش وزن کم‌تری نسبت به سایر تیمارها داشته است. درواقع در تیمار ترکیبی کیتوزان با کاراوکرول ۰/۶ کاهش وزن کم‌تری نسبت به تیمار ترکیبی کیتوزان با کاراوکرول ۰/۳ هم مشاهده شد. به‌طور کلی به‌نظر می‌رسد که ترکیب کاراوکرول در پوشش‌خوراکی مانند کیتوزان نیز بر جلوگیری از کاهش وزن توت‌فرنگی‌ها موثر بوده است. نتایج این پژوهش نشان داد که به مانند سایر پوشش‌های خوراکی (کیتوزان)، کاراوکرول نیز موجب جلوگیری از افت رطوبت و کنترل تغییرات تنفسی شد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش میزان اسانس، افت وزنی کم‌تری در نمونه‌ها اتفاق می‌افتد. تغییرات کاهش وزن میوه در روزهای آخر به‌علت افزایش فعالیت متابولیکی و همچنین رشد سریع میکروبی با تخریب بافت میوه می‌باشد. در مطالعه علیرضالو و همکاران (Alirezalu *et al.*, 2018) در تمامی تیمارها با افزایش زمان نگهداری به‌علت تبخیر سطحی، میزان آب میوه‌ها کاهش و درصد کاهش وزن افزایش پیدا کرد. در این میان بیش‌ترین درصد کاهش وزن مربوط به تیمار شاهد و کم‌ترین درصد کاهش وزن مربوط به توت‌فرنگی پوشش داده شده با یک درصد کیتوزان حاوی ۱۰ درصد عصاره چای سبز بود (Alirezalu *et al.*, 2018). در مطالعه فیض‌اللهی و همکاران (Feyzollahi *et al.*, 2022)، به‌طوری که بیش‌ترین درصد کاهش وزن مربوط به تیمار شاهد در روز ۱۵ نگهداری (۴۸/۰۸ درصد) و کم ترین میزان کاهش وزن (۶/۵۶ درصد) مربوط به نمونه‌های بسته‌بندی شده با فیلم حاوی ۲۰٪ اسانس بود. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از کیتوزان و اسانس باعث کاهش درصد کاهش وزن میوه‌ها شدکه با نتایج این پژوهش‌ها مطابقت دارد.

مواد جامد محلول کل (TSS)[2]

نتایج مقایسه میانگین مربوط به مواد جامد محلول طی دوره انبارداری در دمای سرد نشان داد با افزایش زمان نگهداری توت‌فرنگی ها، مواد جامد محلول میوه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۲). به‌طوری‌که کم‌ترین مقدار در روز آخر مربوط به تیمار شاهد (۷/۱۷ درصد) و در روز آخر بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول مربوط به تیمار کیتوزان و کاراوکرول ۰/۶ درصد (۱۱/۷۳ درصد) مشاهده شد. کاربرد تیمار ترکیبی کیتوزان و کاراوکرول ۰/۶ نسبت به تیمار ترکیبی کیتوزان و کاراوکرول ۰/۳ باعث افزایش بیش‌تر در مواد جامد محلول گردید. همچنین کاربرد تیمارهای ترکیبی کیتوزان و کاراوکرول (۰/۳و ۰/۶)، باعث مواد جامد محلول بیش‌تری نسبت به سایر تیمارها گردید. به‌نظر می‌رسد کاهش مواد جامد محلول میوه در تیمار شاهد در روزهای آخر به‌علت افزایش فعالیت متابولیکی، رشد سریع میکروبی با تخریب بافت میوه و همچنین طعم نامطلوب میوه با توجه به تست پانل (ترشیدگی) می‌باشد. در مطالعه رستم‌زاده و همکاران (Rostamzadeh *et al.*, 2015) نشان داد که افزایش مواد جامد محلول در همه تیمارها نسبت به شاهد معنی‌دار بوده است. تفاوت معنی‌داری بین تیمار یک و دو درصد وجود نداشت. در این بین بیش‌ترین مقدار مواد جامد محلول مربوط به تیمار دو درصد کیتوزان و کم‌ترین متعلق به شاهد بود. از آنجایی‌که اسیدآلی و نشاسته در طی فرایند تنفس مصرف شده و منبع تأمین مواد جامد محلول می‌باشند، می‌توان بالا بودن مواد جامد محلول در تیمار کیتوزان دو درصد و یک درصد را با مصرف شدن این دو ترکیب در آنها مرتبط دانست. تأثیر کیتوزان بر میزان مواد جامد محلول در میوه‌های مختلف متفاوت است مثلاً در پاپایا تأثیر معنی‌داری نداشت و در انبه باعث افزایش آن گردید (Bautista-Banos *et al*., 2003; Srinivasa *et al.*, 2002).

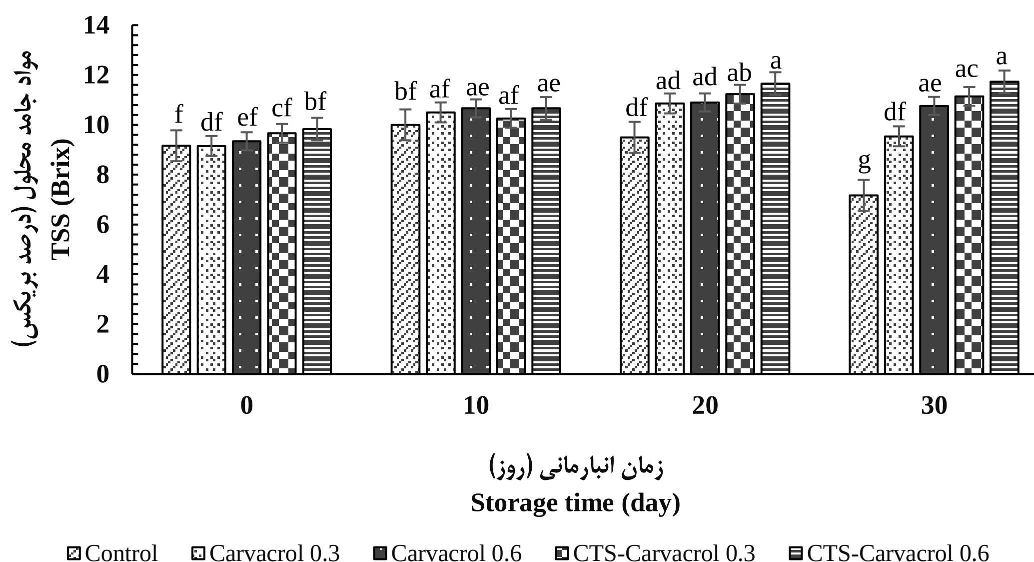
1- Weight loss

2- Total soluble solids



شکل ۱- کاربرد قبل از برداشت کیتوزان با کارواکرول برکاهش وزن میوه توت‌فرنگی رقم پاروس طی انبارمانی

Fig. 1- Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on weight loss of Paros strawberry fruit during storage



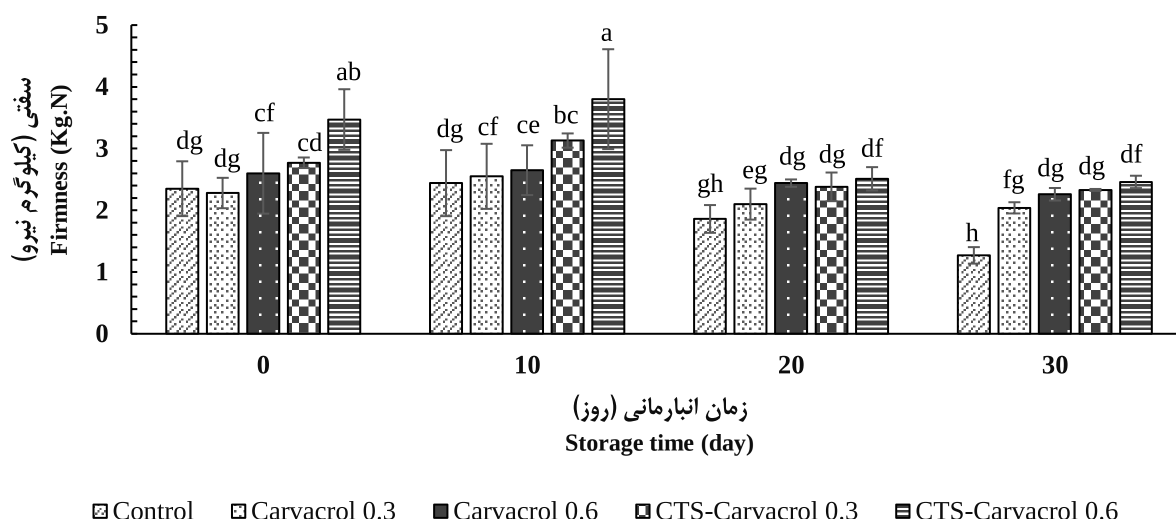
شکل ۲- کاربرد قبل از برداشت کیتوزان با کارواکرول بر مواد جامد محلول کل بافت میوه توت‌فرنگی رقم پاروس طی انبارمانی

Fig. 2- Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on total soluble solids of Paros strawberry fruit tissue during storage

سفتی بافت[1] (FR)

سفتی، یک ویژگی مهم حسی، شاخصی از ماندگاری و کیفیت میوه است. نتایج نشان داد طی ۳۰ روز نگهداری توت‌فرنگی‌ها در یخچال، سفتی بافت نمونه شاهد کاهش یافت. به‌طوری که با افزایش زمان میزان سفتی بافت میوه در تمامی تیمارها تا روز ۱۰ افزایش پیدا کرد و بعد از آن روند کاهشی در روز آخر مشاهده شد. درواقع بیش‌ترین میزان سفتی مربوط به تیمار کیتوزان وکارواکرول ۰/۶ درصد (۳/۸ کیلوگرم نیرو) در روز ۱۰ و کم‌ترین میزان سفتی مربوط به تیمار شاهد (۱/۲۷ کیلوگرم نیرو) در روز آخر بوده است. به‌طوری که در توت‌فرنگی‌های پوشش داده شده با کیتوزان و کارواکرول (۰/۳ و ۰/۶) از سفتی بیش تری نسبت به سایر تیمارها مشاهده شد (شکل ۳). در مطالعه‌ای انگورهای پوشش داده شده با کیتوزان و آلوئه‌ورا به‌طور قابل توجهی (P <0.05) سفت‌تر از میوه‌های تیمار شده با کیتوزان بودند.

1- Firmness



شکل ۳- کاربرد قبل از برداشت کیتوزان با کارواکرول بر سفتی بافت میوه توت‌فرنگی رقم پاروس طی انبارمانی

Fig. 3- Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on firmness of Paros strawberry fruit tissue during storage

میزان نرم شدن میوه به‌طور مستقیم با سرعت پوسیدگی ترکیبات پکتین از طریق فعالیت آنزیمی آنزیم‌های پکتین‌متیل‌استراز [1](PME) و پلی‌گالاکتروناز [2](PG) در طول رسیدن مرتبط است. کیتوزان فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره‌سلولی را کاهش می‌دهد و پوسیدگی قارچی را کاهش می‌دهد که در نتیجه می‌تواند سفتی بافت را در مقایسه با شاهد حفظ کند (Mostofi *et al*., 2010). نتایج این آزمایش با دیگر پژوهش‌های انجام‌شده روی انبه، گوجه و ذغال‌اخته مطابقت دارد به طوری‌که تیمار کیتوزان توانسته از کاهش سفتی بافت میوه طی مدت انبارمانی جلوگیری کند (Chien *et al*., 2007; Duan *et al*., 2001; Liu *et al*., 2007).

اسیدیته قابل تیتر(TA)[3]

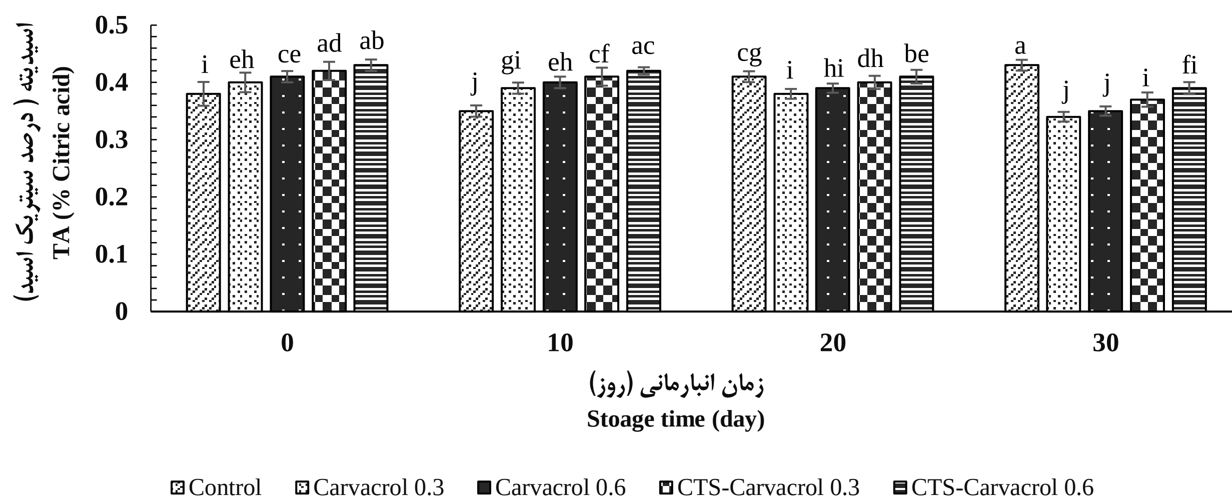
مقدار اسیدهای قابل تیتراسیون با رسیدگی محصول در ارتباط است و موجب طعم ترش در میوه‌ها و سبزی‌ها می‌گردند. با رسیدن در اکثر میوه‌ها میزان اسیدهای آلی کاهش‌می‌یابد (Jalili Marandi, 2013). نتایج مقایسه میانگین مربوط به اسیدیته طی دوره انبارمانی در دمای سرد نشان داد که با افزایش زمان نگهداری توت‌فرنگی‌ها، همه‌ی تیمارها به‌جز شاهد (تا روز ۱۰) اسیدیته آن‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۴). به‌طوری که بیش‌ترین میزان اسیدیته در روز ۳۰ مربوط به شاهد (۰/۴۳ درصد اسیدسیتریک) بوده است. درواقع در طی آزمایش در روزهای آخر، تیمارهای ترکیبی کیتوزان با کارواکرول (۰/۳ و ۰/۶) از اسیدیته بیش‌تری نسبت به سایر تیمارها به‌جز شاهد مشاهده شد.

به‌نظر می‌رسد افزایش اسیدیته میوه در تیمار شاهد در روزهای آخر به‌علت افزایش فعالیت متابولیکی میوه، رشد سریع میکروبی با تخریب بافت میوه و همچنین طعم نامطلوب میوه با توجه به تست پانل می‌باشد. با طولانی شدن زمان انبارمانی میزان اسید قابل تیتراسیون در میوه‌های پوشش داده‌شده کاهش یافت؛ اما شدت کاهش در نمونه‌های شاهد کندتر بود (Ali *et al*., 2011).

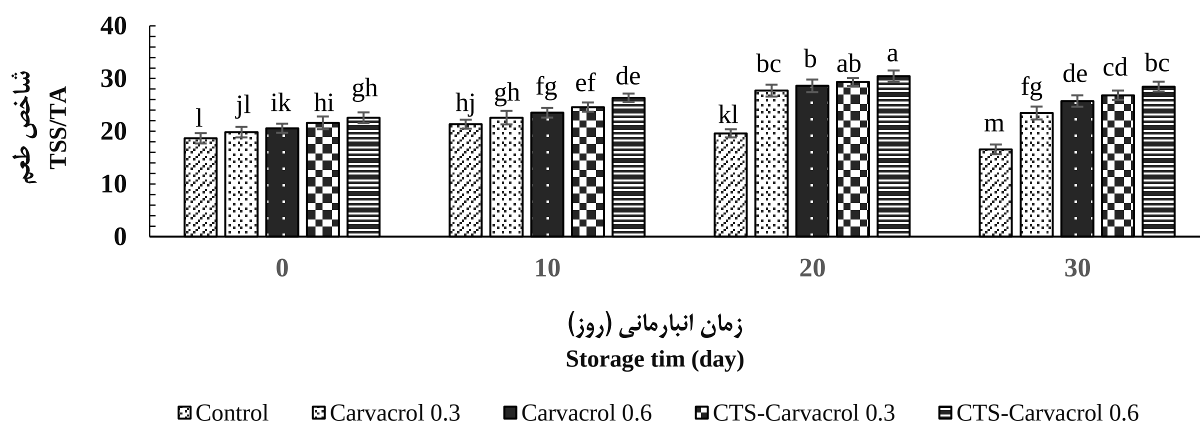
شاخص طعم (TSS/TA)

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که نسبت TSS/TA در تمامی تیمارها (شاهد تا روز۱۰) تا روز ۲۰ افزایش یافته است اما در روز آخر در تمامی تیمارها میزان شاخص طعم کاهش پیدا کرده است. درواقع میزان افزایش شاخص طعم در میوه‌های گروه شاهد کندتر از میوه‌های پوشش داده شده با کیتوزان بود. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان نسبت TSS/TA مربوط به تیمار کیتوزان و کارواکرول ۰/۶ (۳۰/۴۴) در روز ۲۰ و کم‌ترین این نسبت مربوط به تیمار شاهد (۱۶/۵۶) در روز آخر مشاهده شد در واقع توت‌فرنگی پوشش داده شده با کیتوزان و کارواکرول (۰/۳ و ۰/۶) از شاخص طعم بهتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار شدند (شکل ۵). نتایج این شاخص با پژوهش‌های سایر محققین، در میوه انگور با کاربرد پوشش کیتوسان مطابقت داشت (Nia *et al*., 2021).

1- Pectin Methylesterases
2- Polygalacturonases
3- Titratable acidity



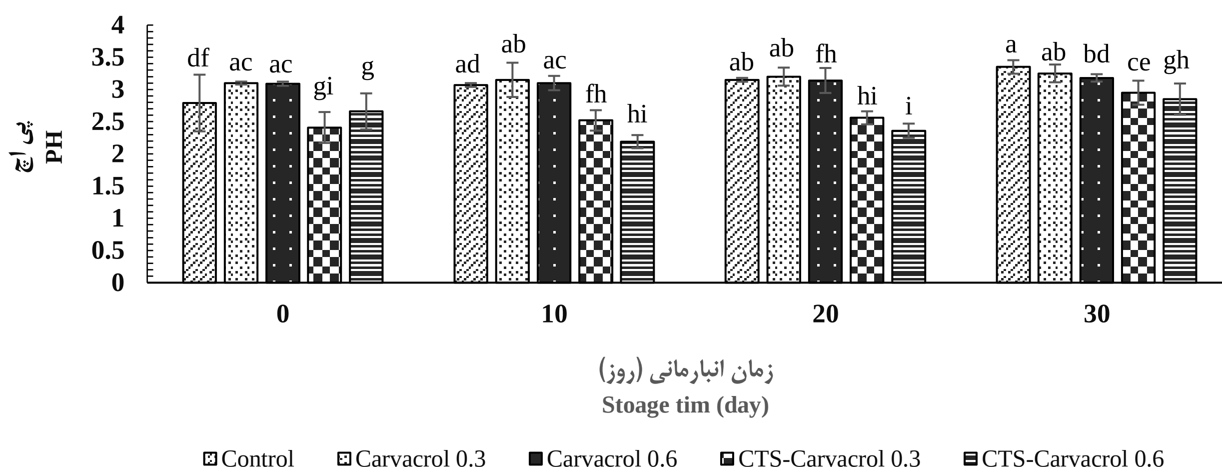
شکل ٤- کاربرد قبل از برداشت کیتوزان با کارواکرول بر اسیدیته قابل تیتر بافت میوه توت‌فرنگی رقم پاروس طی انبارمانی
Fig. 4- Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on titratable acidity of Paros strawberry fruit tissue during storage



شکل ۵- کاربرد قبل از برداشت کیتوزان با کارواکرول بر شاخص طعم بافت میوه توت‌فرنگی رقم پاروس طی انبارمانی
Fig. 5- Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on the taste index of Paros strawberry fruit texture during storage

pH

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در طول مدت زمان نگهداری میزان pH توت‌فرنگی‌های پوشش داده شده و شاهد افزایش پیدا کرد. pH توت‌فرنگی‌های پوشش داده شده به‌صورت معنی داری (P<0/01) کم‌تر از نمونه شاهد بود (جدول ۱). به‌طوری‌که کم‌ترین pH مربوط به تیمار کیتوزان و کارواکرول ۰/۶ در ۱۰ روز بعد از انبارمانی (۲/۱۹) و بیش‌ترین میزان pH در روز آخر مربوط شاهد (۳/۳۵) بوده است (شکل ۶). علت این تغییر احتمالا می‌تواند مربوط به ممانعت‌کنندگی پوشش کیتوزان و اثرات ضدمیکروبی کارواکرول باشد که باعث کاهش میزان تنفس و رشد میکروب‌ها می‌شود. علت افزایش میزان pH در تیمار شاهد می‌تواند به‌دلیل عدم وجود پوشش مناسب در اطراف آن باشد که باعث افزایش میزان تنفس میوه و مصرف اسیدهای آلی و همچنین مربوط به رشد نسبی کپک‌ها و مخمرها و مصرف اسیدهای آلی توسط آنها باشد (Zivanovic *et al.*, 2007). نتایج مشابه در رابطه با پوشش گوآوا با فیلم بر پایه صمغ عربی حاوی اسانس دارچین (Etemadipoor *et al.*, 2019) و فیلم زیست‌تخریب‌پذیر پلی وینیل‌الکل و کیتوزان برای بسته‌بندی توت‌فرنگی (Ding *et al.*, 2019) گزارش شده است.



شکل ٦- کاربرد قبل از برداشت کیتوزان با کارواکرول بر پی اچ بافت میوه توت‌فرنگی رقم پاروس طی انبارمانی

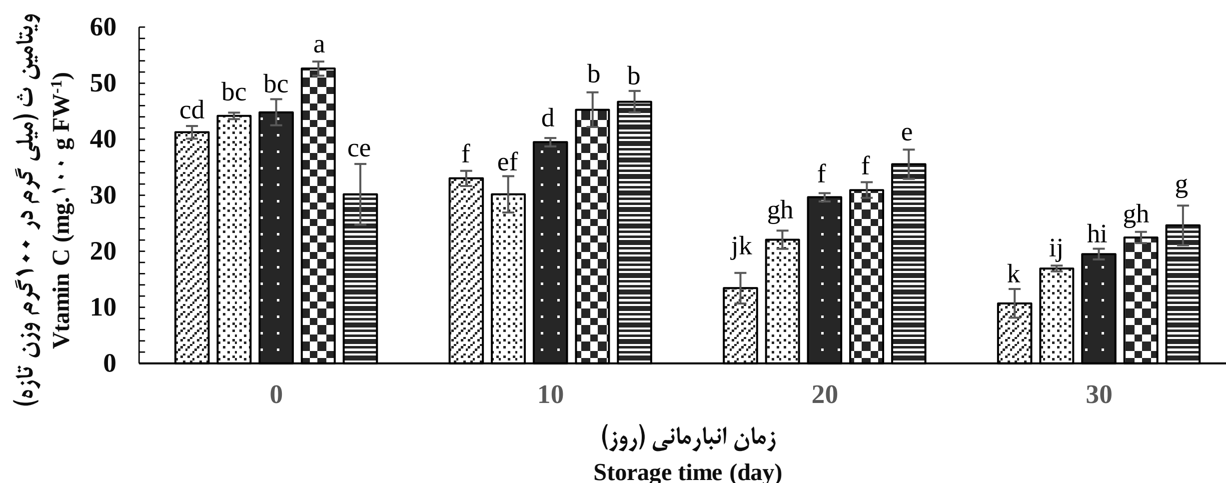
Fig. 6- Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on pH of Paros strawberry fruit tissue during storage

ویتامین‌ث

براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها اثرات متقابل تیمارهای ترکیبی کیتوزان با کارواکرول تاثیر مثبتی بر میزان ویتامین‌ث توت فرنگی در چهار زمان اندازه‌گیری داشتند. بطوری‌که در روز آخر بیش-ترین مقدار ویتامین‌ث مربوط به تیمار کیتوزان و کارواکرول ۰/۶ درصد (۲۴/۶۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کم‌ترین میزان ویتامین‌ث مربوط تیمار شاهد (۱۰/۷۱ درصد میلی‌گرم در گرم وزن تر) مشاهده شد و همچنین تیمارهای ترکیبی کیتوزان با کارواکرول (۰/۳ و ۰/۶) نسبت به سایر تیمارها ویتامین‌ث بیش‌تری مشاهده شد (شکل ۷). در مطالعه رستم‌زاده و همکاران (Rostamzadeh *et al.*, 2015)، کم‌ترین ویتامین‌ث در شاهد و بیش‌ترین در غلظت یک درصد کیتوزان وجود داشت. کاهش میزان ویتامین‌ث طی مدت انبارمانی ممکن است ناشی از افزایش اکسیداسیون حاصل از کاهش آب باشد (Shin *et al.*, 2007). با توجه به اینکه کاهش ویتامین‌ث از نظر ارزش غذائی نامطلوب است، بنابراین جلوگیری از کاهش آن که احتمالاً با جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های مرتبط با اکسیداسیون آن صورت می‌گیرد، در ماندگاری ارزش تغذیه‌ای میوه سیب بسیار مفید است (Mac Lean *et al.*, 2000). نتایج این پژوهش با نتایج روی میوه‌های انبه و لیچی مطابقت دارد و بیانگر این است که پوشش کیتوزان توانسته است در طول مدت انبارمانی، از دست رفتن ویتامین‌ث را کم کرده و اکسیداسیون آن‌را کاهش دهد (Chien *et al.*, 2007; Dong *et al.*, 2004).

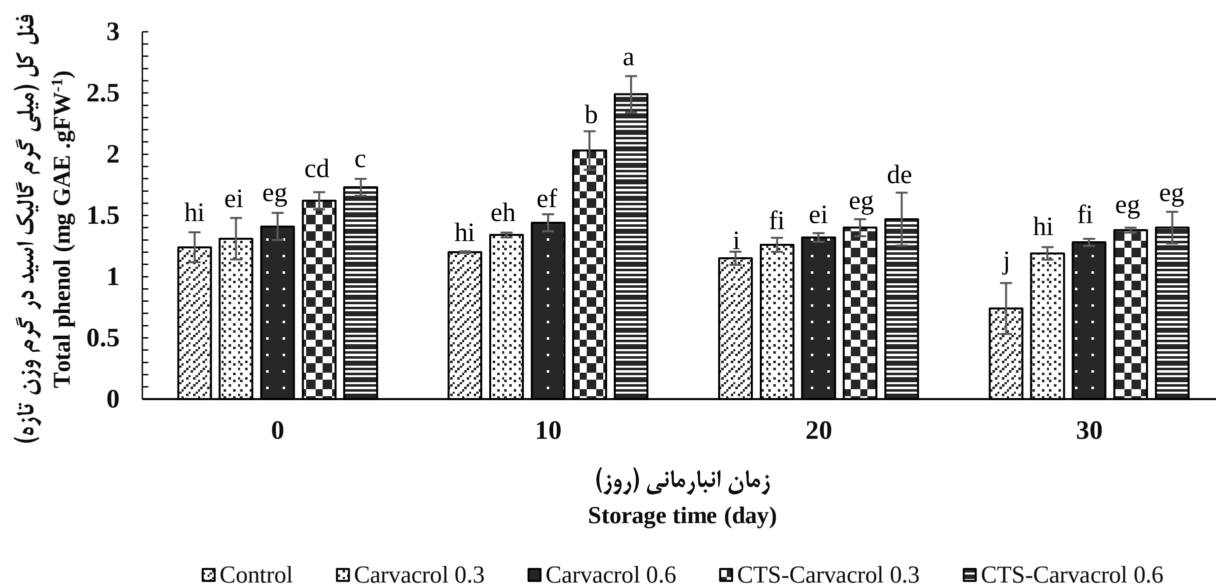
میزان فنل کل

مقایسه میانگین‌های داده‌ها، نشان داد که روند تغییر فنل کل طی دوره نگهداری میوه در همه تیمارها به‌جز شاهد تا ۱۰ روز بعد از انبارمانی افزایشی، اما پس از آن میزان فنل کل کاهشی بود. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان فنل مربوط به تیمار کیتوزان و کارواکرول ۰/۶ درصد (۲۰/۴۹ میلی‌گرم اسیدگالیک در۱۰۰ گرم وزن تر) در روز ۱۰ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد (۰/۷۴میلی‌گرم اسیدگالیک در۱۰۰ گرم وزن تر) در روز آخر مشاهده شد، همچنین تیمارهای ترکیبی کیتوزان با کارواکرول (۰/۳ و ۰/۶ درصد) میزان فنل بیش‌تری نسبت به سایر تیمارها داشتند (شکل ۸). میزان فنل میوه‌ها و سبزی‌ها پس از برداشت می‌تواند کاهش یا افزایش یابد که این امر بستگی زیادی به شرایط انبارمانی دارد. نگهداری میوه‌های بالغ در سردخانه به‌طور معنی‌داری باعث افزایش فنل‌ها می‌گردد و این مسئله می‌تواند به‌واسطه تغییرات در متابولیسم فنلی در طی انبارمانی و همچنین افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز باشد. آزمایشی که روی سیب انجام گرفت، نشان داد که میزان فنل کل پس از پایان دوره نگهداری طولانی در انبار افزایش یافته است (Leja *et al.*, 2008). قاسم‌نژاد و همکاران (Ghasemnezhad *et al.*, 2010) گزارش کردند که زردآلوهای تیمار شده با کیتوزان در مقایسه با شاهد از ترکیبات فنلی بیش‌تری برخوردار بودند.



شکل ۷- کاربرد قبل از برداشت کیتوزان با کارواکرول بر میزان ویتامین ث میوه توت‌فرنگی رقم پاروس طی انبارمانی

Fig. 7- Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on vitamin C content of Paros strawberry fruits during storage

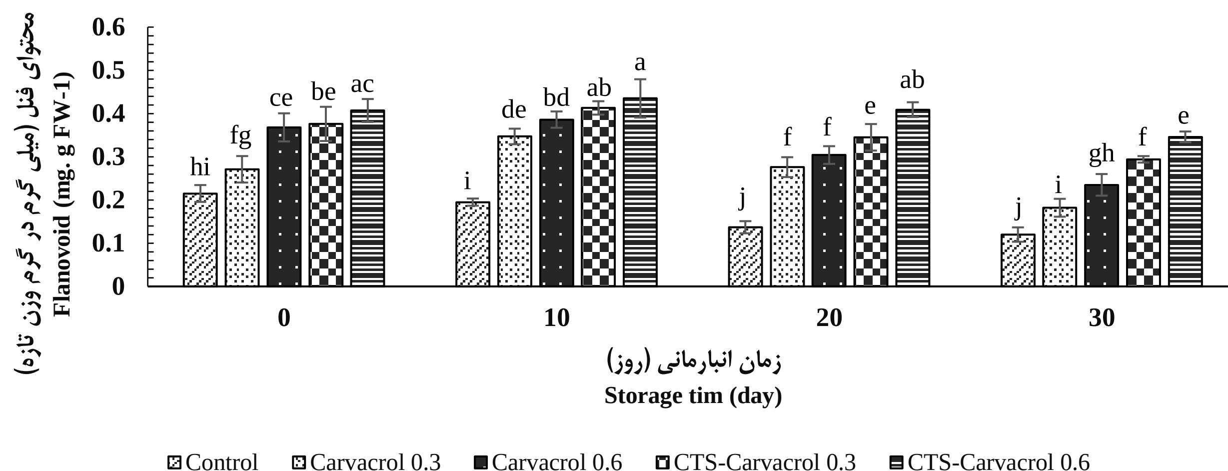


شکل ۸- کاربرد قبل از برداشت کیتوزان با کارواکرول بر محتوای فنل کل میوه توت فرنگی رقم پاروس طی انبارمانی

Fig. 8- Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on total phenolic content of Paros strawberry fruit during storage

فلاونوئید

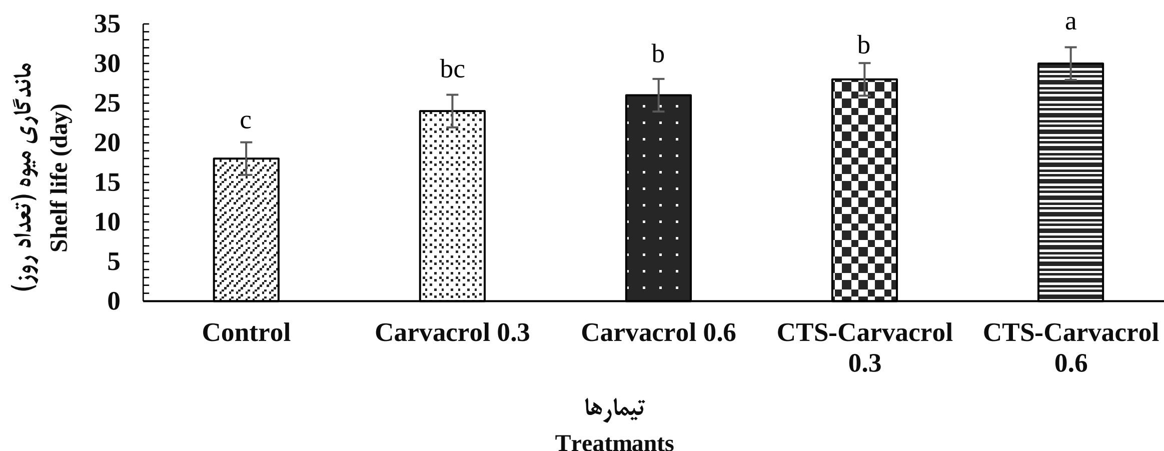
فلاونوئیدها گروه عمده‌ایی از خانواده ترکیبات فنلی با فعالیت آنتی اکسیدانی و بیولوژیکی هستند که در میوه‌ها شناسایی شده‌اند (Fernández-Pan *et al*., 2015). همان‌طور که در شکل ۹ نشان داده شده است، روند تغییر فلاونوئید طی دوره نگهداری میوه در همه تیمارها به‌جز شاهد تا ۱۰ روز بعد از انبارمانی به‌صورت افزایشی، اما پس از آن میزان فلاونوئید کاهشی یافت. به‌طوری‌که کم‌ترین محتوای فلاونوئید مربوط به تیمار شاهد (۰/۱۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در روز آخر و بیش‌ترین میزان فلاونوئید مربوط به تیمار ترکیبی کیتوزان و کارواکرول ۰/۶ درصد (۰/۳۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) بود و همچنین در تیمارهای ترکیبی کیتوزان با کارواکرول (۰/۳ و ۰/۶ درصد) نسبت به سایر تیمارها میزان فلاونوئید بیش‌تری مشاهده شد. بنابراین میزان فلاونوئید تیمارهای کیتوزان نسبت به شاهد افزایش یافته که نشان می‌دهد کاربرد قبل از برداشت کیتوزان به‌طور قابل توجهی بر محتوای فلاونوئید تأثیر می‌گذارد (Bursac Kovacevic *et al*., 2015).



شکل ۹- کاربرد قبل از برداشت کیتوزان با کارواکرول بر میزان کل فلاونوئید میوه توت‌فرنگی رقم پاروس طی انبارمانی
Fig. 9- Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on total flavonoid content of Paros strawberry fruit during Storage

ماندگاری میوه (تعداد روز)

تمام تیمارهای این مطالعه بر عمر ماندگاری توت‌فرنگی تأثیرگذار بودند. براساس نتایج نشان داده شده در شکل ۱۰، کم‌ترین (۱۸روز) و بیش‌ترین (۳۰ روز) ماندگاری میوه به ترتیب در تیمار شاهد و تیمار کیتوزان و کارواکرول ۰/۶ درصد بوده است (شکل۱۰). در مطالعات قبلی، ماندگاری انار (Meighani *et al.*, 2015) و انجیر تیمار شده با کیتوزان (Saki *et al.*, 2019) به‌ترتیب ۱۲۰ روز و ۲۰ روز، به‌طور قابل توجهی بیش‌تر از شاهد در طول دوره نگهداری بود.



شکل ۱۰- کاربرد قبل از برداشت کیتوزان با کارواکرول بر ماندگاری میوه توت‌فرنگی رقم پاروس طی انبارمانی
Fig. 10- Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on shelf life of Paros cultivar strawberry fruit during storage

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تیمار ترکیبی کیتوزان و کارواکرول ۰/۶ درصد، سبب بهبود صفات سفتی بافت میوه، ویتامین‌ث، مواد جامد محلول و شاخص طعم میوه توت‌فرنگی در مقایسه با دیگر تیمارها و شاهد گردید. همچنین، استفاده از این تیمارها ترکیبی (کیتوزان با کارواکرول ۰/۳ و ۰/۶) توانست عمر پس از برداشت این رقم را در مقایسه با شاهد ۱۰ و ۱۲ روز بهبود بخشد. از این رو کاربرد قبل از برداشت کیتوزان و کارواکرول می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد ایمن و کم‌هزینه جهت افزایش عمر پس از برداشت توت‌فرنگی رقم 'پاروس' قابل توصیه باشد.

منابع

1. Abd-Elkader, D.Y., Salem, M.Z.M., Komeil, D.A., Al-Huqail, A.A., Ali, H.M., Salah, A.H., Akrami, M., & Hassan, H.S. (2021). Post-harvest enhancing and *Botrytis cinerea* control of strawberry fruits using low cost and eco-friendly natural oils. *Agronomy*, *11*, 1246. https://doi.org/10.3390/agronomy11061246
2. Agriopoulou, S., Stamatelopoulou, E., Sachadyn-Król, M., & Varzakas, T. (2020). Lactic acid bacteria as antibacterial agents to extend the shelf life of fresh and minimally processed fruits and vegetables: quality and safety aspects. *Microorganisms, 8*, 952. https://doi.org/10.3390/microorganisms8060952
3. Ahn, M.G., Kim, D.S., Ahn, S.R., Sim, H.S., Kim, S., & Kim, S.K. (2021). Characteristics and trends of strawberry cultivars throughout the cultivation season in a Greenhouse. *Horticulturae*, *7*, 30. https://doi.org/10.3390/horticulturae7020030
4. Ali, A., Tengku, M., Muda, M., Sijam, K., & Siddiqu, Y. (2011). Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. *Food Chemistry*, *124*, 620-626. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.085
5. Alirezalu, K., Tavakolian, R., & Jaffarpour, P. (2018). Effect of postharvest application of chitosan coating containing green tea extract on quality characteristics and shelf life of Selva strawberry cultivar. *Research in Pomology*, *3*(1), 43-56.
6. Bautista-Banos, S., Hernandez-Lopez, M., Bosquez-Molina, E., & Wilson, C.L. (2003). Effects of chitosan and plant extractes on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop Protection*, *22*, 1087-1092. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(03)00117-0
7. Bursac Kovacevic, D., Putnik, P., Uzelac Verica, D., & Livaj, B. (2015). Influences of organically and conventionally grown strawberry cultivars on anthocyanins content and color in purees and low-sugar jams. *Food Chem*istry, *181*, 94–100. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.063
8. Chiabrando, V., Garavaglia, L., & Giacalone, G. (2019). The postharvest quality of fresh sweet cherries and strawberries with an active packaging system. *Foods, 8*, 335. https://doi.org/10.3390/foods8080335
9. Chien, P.J., Sheu, F., & Yang, F.H. (2007). Effect of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Food Engineering*, *78*, 225-229. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.022
10. De Corato, U. (2020). Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *60*, 940–975. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1553025
11. Ding, J., Zhang, R., Ahmed, S., Liu, Y., & Qin, W. (2019). Effect of sonication duration in the performance of polyvinyl alcohol/chitosan bilayer films and their effect on strawberry preservation. *Molecules*, *24*(7), 1408-1414. https://doi.org/10.3390/molecules24071408
12. Dong, H., Cheng, L., Tan, J., Zheng, K., & Jiang, Y. (2004). Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit. *Food Engineering*, *64*, 355-358. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.11.003
13. Duan, J., Wu, R., Strik, B.C., & Zhao, Y. (2011). Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, *59*, 71–79. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.08.006
14. Ergun, M., & Satici, F. (2012) Use of *Aloe vera* gel as biopreservative for 'Granny Smith' and'Red Chief' apples. *Journal of Animal and Plant Sciences*, *22*(2), 363.
15. Etemadipoor, R., Ramezanian, A., Dastjerdi, A.M., & Shamili, M. (2019). The potential of gum arabic enriched with cinnamon essential oil for improving the qualitative characteristics and storability of guava *Psidium guajava* L. fruit. *Scientia Horticulturae*, *251*, 101-107. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.021
16. Eum, H.-L., Han, S.-H., & Lee, E.-J. (2021). High-CO_2 treatment prolongs the postharvest shelf life of strawberry fruits by reducing decay and cell wall degradation. *Foods*, *10*, 1649. https://doi.org/10.3390/foods10071649
17. Farina, V., Passafiume, R., Tinebra, I., Palazzolo, E., & Sortino, G. (2020). Use of *Aloe vera* gel-based edible coating with natural anti-browning and anti-oxidant additives to improve post-harvest quality of fresh-cut 'Fuji' apple. *Agronomy*, *10*, 515. https://doi.org/10.3390/agronomy10040515
18. Fernández-Pan, I., Maté, J. I., Gardrat, C., & Coma, V. (2015). Effect of chitosan molecular weight on the antimicrobial activity and release rate of carvacrol-enriched films. *Food Hydrocolloids*, *51*, 60-68. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.04.033
19. Feyzollahi, Y., Golmohammadi, A., Nematollahzadeh, A., & Tahmasebi, M. (2022). Evaluation the effect of biodegradable active packaging based on Zein containing *Zataria multiflora* essential oil on postharvest shelf life of strawberry. *Innovative Food Technologies*, *9*(2), 113-127. https://doi.org/10.22104/jift.2021.5248.2071
20. Friedman, M. (2014). Chemistry and multibeneficial bioactivities of carvacrol (4-isopropyl-2-methylphenol), a component of essential oils produced by aromatic plants and spices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*(31), 7652-7670. https://doi.org/10.1021/jf5023862

21. Ghasemnezhad, M., Shiri, M.A., & Sanavi, M. (2010). Effect of chitosan coatings on some quality indices of apricot *(Prunus armeniaca* L.) during cold storage. *Journal of Enviromental Sciences*, *8*, 25-33. https://cjes.guilan.ac.ir/data/cjes/coversheet/head_en.jpg
22. Ghoora, M.D., & Srividya, N. (2020). Effect of packaging and coating technique on postharvest quality and shelf life of *Raphanus sativus* L. and *Hibiscus sabdariffa* L. *Microgreens Foods*, *9*, 653. https://doi.org/10.3390/foods9050653
23. Hashmi, M.S., East, A.R., Palmer, J.S., & Heyes, J.A. (2013). Hypobaric treatment stimulates defence-related enzymes in strawberry. *Postharvest Biology Technology*, *85*, 77–82. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.05.002
24. He, Y., Bose, S.K., Wang, W., Jia, X., Lu, H., & Yin, H. (2018). Pre-harvest treatment of chitosan oligosaccharides improved strawberry fruit quality. *International Journal of Molecular Sciences*, *19*(8), 2194. https://doi.org/10.3390/ijms19082194
25. Hosseini, S.F., Amraie, M., Salehi, M., Mohseni, M., & Aloui, H. 2019. Effect of chitosan-based coatings enriched with savory and/or tarragon essential oils on postharvest maintenance of kumquat (*Fortunella* sp.) fruit. *Food Science and Technology International*, *7*, 155–162. https://doi.org/10.1002/fsn3.835
26. Ilari, A., Toscano, G., Boakye-Yiadom, K.A., & Duca, D. (2021); *Foppa pedretti*, E. life cycle assessment of protected strawberry productions in central Italy. *Sustainability*, *13*, 4879. https://doi.org/10.3390/su13094879
27. Jalili Marandi, R. (2013). *Physiology after harvesting*. Academic Jihad Publications of Urmia University. 276 p. https://doi.org/10.3390/su142214918
28. Kahramano˘ glu, ˙I. (2019). Effects of lemongrass oil application and modified atmosphere packaging on the postharvest life and quality of strawberry fruits. *Science Horticulture*, *256*, 108527. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.054
29. Khodaei, D., Hamidi-Esfahani, Z., & Rahmati, E. (2021). Effect of edible coatings on the shelf-life of fresh strawberries: A comparative study using TOPSIS-Shannon entropy method. *NFS Journal*, *23*, 17–23. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2021.02.003
30. Leja, M., Mareczek, A., & Ben, J. (2008). Antioxidant properties of two apple cultivars during long-term storage. *The Journal of Food Composition and Analysis*, *21*, 396-401. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00263-7
31. Liu, J., Tian, S., Menga, X., & Xua, Y. (2007). Effects of chitosan on control of postharvest diseases and physiological responses of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *44*, 300–306. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.019
32. Mac Lean, D.D., Murr, D.P., & DeELL, J.R.A. (2000). Modified total oxyradical scavenging capacity assay for antioxidants in plant tissues. *Postharvest Biology and Technology*, *29*, 183-194. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00248-X
33. Meighani, H., Ghasemnezhad, M., & Bakhshi, D. (2015). Effect of different coatings on post-harvest quality and bioactive compounds of pomegranate (*Putnica granatum* L.) fruits. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(7), 4507–4514. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1484-6
34. Montero-Prado, P., Rodriguez-Lafuente, A., & Nerin, C. (2011). Active label-based packaging to extend the shelf-life of "Calanda" peach fruit: Changes in fruit quality and enzymatic activity. *Postharvest Biology and Technology*, *60*, 211-219. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.01.008
35. Moraes, K.S., de Fagundes, C., Melo, M.C., Andreani, P., & Monteiro, A.R. (2012). Con-servation of Williams pear using edible coating with alginate and carrageenan. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, *32*, 679–684. http://dx.doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00093-4
36. Mozafari, A.A., Dedejani, S., & Ghaderi, N. (2018). Positive responses of strawberry (*Fragaria_ananassa* Duch.) explants to salicylic and iron nanoparticle application under salinity conditions. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, *134*, 267–275. https://doi.org/10.1007/s11240-018-1420-y
37. Nair, M.S., Tomar, M., Punia, S., Kukula-Koch, W., & Kumar, M. (2020) Enhancing the functionality of chitosan- and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 320. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.083
38. Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., & Feng, H. (2018). Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. *Food Chemistry*, *262*, 242-250. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.047
39. Nia, A.E., Taghipour, S., & Siahmansour, S. (2021). Pre-harvest application of chitosan and postharvest Aloe vera gel coating enhances quality of table grape (*Vitis vinifera* L. cv.'Yaghouti') during postharvest period. *Food Chemistry*, *347*, 129012. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129012
40. Nia, A.E., Malekzadeh, E., Taghipour, S., Tatari, A., Arshad, Z.G. (2023). Effects of preharvest chitosan-Myrtus communis essential oil composite and postharvest nanocellulose on quality of strawberry. *International Journal of Biological Macromolecules*, *253*, 126733. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126733.

41. Peretto, G., Du, W.X., Avena-Bustillos, R.J., Sarreal, S.B.L., Hua, S.S.T., Sambo, P., & McHugh, T.H. (2014). Increasing strawberry shelf-life with carvacrol and methyl cinnamate antimicrobial vapors released from edible films. *Postharvest Biology and Technology*, *89*, 11-18. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.11.003
42. Romanazzi, G., Feliziani, E., Sivakumar, D., & Chitosan, A. (2018). Biopolymer with triple action on postharvest decay of fruit and vegetables: eliciting, antimicrobial and film-forming properties. *Front. Microbiology, 9*, 2745. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02745
43. Rostamzadeh, B., Ramin, A.A., Amini, F., & Pirmoradian, M. (2015). Effect of chitosan coating on increasing postharvest life and maintaining apple fruit quality Cv "Soltani". *JCPP, 5*(17), 263-272.
44. Saki, M., ValizadehKaji, B., Abbasifar, A., & Shahrjerdi, I. (2019). Effect of chitosan coating combined with thymol essential oil on physicochemical and qualitative properties of fresh fig (*Ficus carica* L.) fruit during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *13*(2), 1147-1158. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00030-w
45. Shin, Y., Liu, R.H., Nock, J., Holliday, D., & Watkins, C.B. (2007). Temperature and relative humidity effects on quality, total ascorbic acid, phenolics and flavonoid concentrations, and antioxidant activity of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, *45*, 349–357. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.03.007
46. Shirzad, H. (2013). Effect of chitosan and calcium chloride to reduce postharvest rot and different quality attributes on Siah mashhad sweetcherry. *Journal of Horticultural Science*, *26*(4), 378-384. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.18224
47. Srinivasa, P.C., Baskaran, R., Armes, M.N., Harish Prashanth, K.V., & Tharanathan, R.N. (2002). Storage studies of mango packed using biodegradable chitosan. *Food Research and Technology*, *215*, 504–508. https://doi.org/10.1007/s00217-002-0591-1
48. Tanada-Palmu, P., & Grosso, C. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films an coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology*, *36*, 199–208. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.12.003
49. Tzortzakis, N., Xylia, P., & Chrysargyris, A. (2019). Sage essential oil improves the effectiveness of *Aloe vera* gel on postharvest quality of tomato fruit. *Agronomy, 9*, 635. https://doi.org/10.3390/agronomy9100635
50. Yuan, G., Chen, X., & Li, D. (2016). Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems. *Food Research International*, *89*, 117–128. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.004
51. Ziv, C., & Fallik, E. (2021). Postharvest storage techniques and quality evaluation of fruits and vegetables for reducing food loss. *Agronomy, 11*, 1133. https://doi.org/10.3390/agronomy11061133
52. Zivanovic, S., Shuang, C., & Draughon, A.F. (2005). Antimicrobial activity of chitosan films enriched with essential oils. *Food Science, 70*, 45-51. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09045.x